

TESIS

**SEGMENTASI CITRA MENGGUNAKAN
LEVEL SET UNTUK *ACTIVE CONTOUR* BERBASIS
PARALLEL GPU CUDA**



LIANITA FEBRIHANI

No. Mhs : 125301846/PS/MTF

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK INFORMATIKA
PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS ATMAJAYA YOGYAKARTA
2014**



UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA
PROGRAM PASCASARJANA
PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK INFORMATIKA

PENGESAHAN TESIS

Nama : LIANITA FEBRIHANI
Nomor Mahasiswa : 125301846/PS/MTF
Konsentrasi : Soft Computing
Judul tesis : Segmentasi Citra Menggunakan Metode *Level Set*
untuk *Active Contour* Berbasis Paralel GPU CUDA

Nama Penguji	Tanggal	Tanda Tangan
Dr. Pranowo, ST, MT (Ketua)	8/7/14	
B. Yudi Dwiandiyanta, ST, MT (Sekretaris)	8/7/14	
Dr. Ir. Alb. Joko Santoso, MT (Anggota)	7 juli 2014	

Ketua Program Studi

PROGRAM PASCASARJANA
(Prof. Ir. Suyoto, M.Sc., Ph.D.)

PERNYATAAN

Dengan ini saya :

Nama : Lianita Febrihani

NIM : 125301846/PS/MTF

Menyatakan bahwa dalam penyusunan tesis ini, tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaaan di suatu Perguruan Tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain., kecuali secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Yogyakarta, 7 Juli 2014



Lianita Febrihani

INTISARI

Segmentasi citra merupakan suatu proses pengolahan citra yang penting pada bidang biomedis. Adapun metode yang diusulkan pada penelitian ini, yaitu metode *Level Set Active Contour Local Image Fitting* yang dikembangkan oleh Zhang et al (2009). Zhang et al menyatakan bahwa fungsi *level set* dapat mendeteksi citra dengan intensitas inhomogen. Pada metode ini, pada proses komputasi membutuhkan waktu yang lama. Untuk mengatasi kebutuhan waktu yang lama maka diusulkan menggunakan komputasi parallel berbasis GPU CUDA. CUDA merupakan model pemrograman yang dapat meningkatkan kinerja komputasi dengan memanfaatkan GPU. Pada citra dengan variasi ukuran 256x256 pixel, 512x512 pixel, dan 1024x1024 pixel pada GPU NVIDIA GTX 660 dapat mempercepat proses komputasi 34-42x lebih cepat dan pada GPU NVIDIA GT 635M dapat mempercepat proses komputasi 17-34x lebih cepat dibandingkan dengan menggunakan CPU. Dengan tingkat *error* 3,76%-12,62% pada *code* GPU dan tingkat *error* 8,13%-15,83% pada *code* CPU dibandingkan dengan matlab Zhang et al.

Kata Kunci : Segmentasi, *Level Set*, GPU, CUDA, komputasi parallel

ABSTRACT

Image segmentation is an important process of image processing in the biomedical field. The method proposed in this study, the method of Level Set Active Contour Local Image Fitting developed by Zhang et al (2009). Zhang et al stated that the level set function can detect the image with intensity inhomogen. In this method, the computing process takes a long time. To address the need for a long time it is proposed to use the GPU CUDA-based parallel computing. CUDA is a programming model that can improve performance by utilizing GPU computing. In images with 256x256 pixel size variation, 512x512 pixels, and 1024x1024 pixels on the NVIDIA GTX 660 GPUs can speed up the process of computing 34-42x faster and NVIDIA GT 635m GPU can accelerate the process of computing the 17-34x faster than using the CPU. With an error rate of 3.76% - 12.62% on the GPU code and error rate of 8.13% -15.83% on the CPU than the matlab code Zhang et al.

Keywords: Segmentation, Set Level, GPU, CUDA, a parallel computing

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan yang Maha Esa, atas segala penyertaannya sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis ini. Penulisan tesis ini dilakukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Magister Teknik Program Studi Teknik Informatika di Universitas Atma Jaya Yogyakarta.

Tersusunnya laporan tesis ini tidaklah terlepas dari banyak pihak yang telah mendukung dan membantu penulis. Pada kesempatan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Tuhan yang Maha Esa, yang selalu membuka jalan untuk umat-Nya, bahkan saat tiada jalan sekalipun Dia membukakan jalan dengan cara-Nya yang ajaib.
2. Orang tua, yang selalu memberikan doa, semangat dan dukungan untuk menyelesaikan tesis ini.
3. Universitas Katolik Widya Karya Malang, yang telah memberikan kesempatan untuk menempuh *study* S2 kepada penulis.
4. Universitas Atma Jaya Yogyakarta, yang telah memberikan kesempatan kesempatan untuk menempuh studi S2 dan dukungan finansial kepada penulis.
5. Dr. Pranowo, ST, MT, sebagai dosen pembimbing I, yang telah memberikan bimbingan dan koreksinya selama penelitian berlangsung.
6. B. Yudi Dwiandiyanta, S.T., M.T., sebagai dosen pembimbing II yang telah memberikan bimbingan dan koreksinya selama penelitian berlangsung.

7. Kaprodi dan seluruh staff pengajar Universitas Atma Jaya Yogyakarta yang telah memberikan ilmunya selama penulis menempuh kuliah.
8. Heribertus Kristianto, sebagai kekasihku yang mendukung dan memberi kritik dan saran selama penelitian berlangsung.
9. Teman – teman, yang telah memberikan dukungan, saran dan kritik untuk berdiskusi.
10. Untuk semua pribadi yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu, yang telah memberikan dukungan dan semangat selama penelitian berlangsung,

Penulis sadar bahwa laporan tesis ini masih jauh dari sempurna dan masih banyak terdapat kekurangan, oleh karena itu penulis mengharapkan saran dan kritik dari pembaca. Semoga tesis ini bermanfaat bagi semua pihak.

Yogyakarta, 7 Juli 2014

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN TESIS PEMBIMBING	ii
HALAMAN PENGESAHAN TESIS TIM PENGUJI	iii
PERNYATAAN.....	iv
INTISARI.....	v
<i>ABSTRACT</i>	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xxiii
NOTASI.....	xxiv
 BAB I PENDAHULUAN	 1
1.1. Latar belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Batasan Masalah	3
1.4. Tujuan Penelitian	4
1.5. Manfaat Penelitian	4
1.6. Sistematika Penulisan	5
 BAB II LANDASAN TEORI	 6
2.1. Tinjauan Pustaka	6
2.2. Landasan Teori.....	11
2.2.1. Citra Digital	11
2.2.2. Segmentasi Citra	12
2.2.3. <i>Active Contour Model</i>	13
2.2.4. <i>Level Set Local Image Fitting Energy</i>	14

2.2.5. Komputasi Parallel	17
2.2.6. GPU (<i>Graphic Processing Unit</i>).....	18
2.2.6.1. Pengertian GPU	18
2.2.6.2. Perbandingan GPU dan CPU.....	19
2.2.7. NVIDIA CUDA (<i>Compute Unified Device Architecture</i>).....	20
2.2.7.1. Pengertian CUDA.....	20
2.2.7.2. Arsitektur CUDA	21
2.2.7.3. Model Dasar Pemrograman CUDA	23
2.2.7.4. Kebutuhan Instalasi CUDA	24
2.2.8. <i>Microsoft Visual Studio</i> 2010.....	25
2.2.9. MATLAB	25
 BAB III METODOLOGI PENELITIAN	26
3.1. Bahan Penelitian	26
3.2. Alat Penelitian.....	29
3.3. Langkah – Langkah Penelitian.....	36
3.3.1. Studi Pustaka.....	37
3.3.2. Perancangan Algoritma <i>Software</i>	38
3.3.3. <i>Coding</i>	39
3.3.3.1. <i>Code</i> berbasis CPU.....	39
3.3.3.2. <i>Code</i> berbasis GPU.....	50
3.3.4. Pengujian.....	61
3.3.5. Analisis	61
 BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN	62
4.1. Pengantar	62
4.2. Pengujian dan Analisis pada Citra Dominan Hitam	63
4.2.1. Pengujian dan Analisis pada Citra Dominan Hitam berukuran 256x256 pixel	63
4.2.1.1. Analisis Perbandingan Waktu dengan Jumlah <i>Thread</i> pada Citra Dominan Hitam berukuran 256x256 pixel	65

4.2.1.2. Analisis Perbandingan Waktu dengan CPU dan GPU pada Citra Dominan Hitam berukuran 256x256 pixel.....	66
4.2.2. Pengujian dan Analisis Citra pada Dominan Hitam berukuran 512x512 pixel	68
4.2.2.1. Analisis Perbandingan Waktu dan <i>Thread</i> pada Citra Dominan Hitam berukuran 512x512 pixel	71
4.2.2.2. Analisis Perbandingan Waktu CPU dan GPU pada Citra Dominan Hitam berukuran 512x512 pixel	72
4.2.3. Pengujian dan Analisis pada Citra Dominan Hitam berukuran 1024x1024 pixel	74
4.2.3.1. Analisis Perbandingan Waktu dan <i>Thread</i> pada Citra Dominan Hitam berukuran 1024x1024 pixel	77
4.2.3.2. Analisis Perbandingan Waktu CPU dan GPU pada Citra Dominan Hitam berukuran 1024x1024 pixel	78
4.2.4. Analisis Perbandingan Waktu Berdasarkan Jumlah Pixel pada Citra Dominan Hitam	79
4.3. Pengujian dan Analisis pada Citra Dominan Putih	81
4.3.1. Pengujian dan Analisis pada Citra Dominan Putih berukuran 256x256 pixel	81
4.3.1.1. Analisis Perbandingan Waktu dan <i>Thread</i> pada Citra Dominan Putih berukuran 256x256 pixel	83
4.3.1.2. Analisis Perbandingan Waktu CPU dan GPU pada Citra Dominan Putih 256x256 pixel.....	85
4.3.2. Pengujian dan Analisis pada Citra Dominan Putih berukuran 512x512 pixel	87
4.3.2.1. Analisis Perbandingan Waktu dan <i>Thread</i> pada Citra Dominan Putih berukuran 512x512 pixel	89
4.3.2.2. Analisis Perbandingan Waktu antara CPU dan GPU pada Citra Dominan Putih berukuran 512x512 pixel	90
4.3.3. Pengujian dan Analisis pada Citra Dominan Putih berukuran 1024x1024 pixel	93

4.3.3.1. Analisis Perbandingan Waktu dan <i>Thread</i> pada Citra Dominan Putih berukuran 1024x1024 pixel	95
4.3.3.2. Analisis Perbandingan Waktu antara CPU dan GPU pada Citra Dominan Putih berukuran 1024x1024 pixel.....	96
4.3.4. Analisis Perbandingan Waktu Berdasarkan Jumlah Pixel pada Citra Dominan Putih	97
4.4. Pengujian dan Analisis pada Citra Dominan Abu.....	99
4.4.1. Pengujian dan Analisis pada Citra Dominan Abu berukuran 256x256 pixel	99
4.4.1.1. Analisis Perbandingan Waktu dan <i>Thread</i> pada Citra Dominan Abu berukuran 256x256 pixel	101
4.4.1.2. Analisis Perbandingan Waktu CPU dan GPU pada Citra Dominan Abu 256x256 pixel	103
4.4.2. Pengujian dan Analisis pada Citra Dominan Abu berukuran 512x512 pixel	105
4.4.2.1. Analisis Perbandingan Waktu dan <i>Thread</i> pada Citra Dominan Abu berukuran 512x512 pixel.....	107
4.4.2.2. Analisis Perbandingan Waktu antara CPU dan GPU pada Citra Dominan Abu berukuran 512x512 pixel	108
4.4.3. Pengujian dan Analisis pada Citra Dominan Abu berukuran 1024x1024 pixel	111
4.4.3.1. Analisis Perbandingan Waktu dan <i>Thread</i> pada Citra Dominan Abu berukuran 1024x1024 pixel	113
4.4.3.2. Analisis Perbandingan Waktu antara CPU dan GPU pada Citra Dominan Abu berukuran 1024x1024 pixel	114
4.4.4. Analisis Perbandingan Waktu Berdasarkan Jumlah Pixel pada Citra Dominan Abu.....	115
4.5. Pengujian dan Analisis pada Citra Biomedis 1	117
4.5.1. Pengujian dan Analisis pada Citra Biomedis 1 berukuran 256x256 pixel	117

4.5.1.1. Analisis Perbandingan Waktu dan <i>Thread</i> pada Citra Biomedis 1 berukuran 256x256 pixel	119
4.5.1.2. Analisis Perbandingan Waktu CPU dan GPU pada Citra Biomedis 1 256x256 pixel	121
4.5.2. Pengujian dan Analisis pada Citra Biomedis 1 berukuran 512x512 pixel	123
4.5.2.1. Analisis Perbandingan Waktu dan <i>Thread</i> pada Citra Biomedis 1 berukuran 512x512 pixel	125
4.5.2.2. Analisis Perbandingan Waktu antara CPU dan GPU pada Citra Biomedis 1 berukuran 512x512 pixel	126
4.6. Pengujian dan Analisis pada Citra Biomedis 2	128
4.6.1. Pengujian dan Analisis pada Citra Biomedis 2 berukuran 256x256 pixel	128
4.6.1.1. Analisis Perbandingan Waktu dan <i>Thread</i> pada Citra Biomedis 2 berukuran 256x256 pixel	131
4.6.1.2. Analisis Perbandingan Waktu CPU dan GPU pada Citra Biomedis 2 256x256 pixel	132
4.6.2. Pengujian dan Analisis pada Citra Biomedis 2 berukuran 512x512 Pixel	134
4.6.2.1. Analisis Perbandingan Waktu dan <i>Thread</i> pada Citra Biomedis 2 berukuran 512x512 pixel	136
4.6.2.2. Analisis Perbandingan Waktu antara CPU dan GPU pada Citra Biomedis 2 berukuran 512x512 pixel	138
4.7. Validasi Code GPU dengan Code Peneliti Sebelumnya	140
 BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	145
5.1. Kesimpulan	145
5.2. Saran	146
 DAFTAR PUSTAKA	147
LAMPIRAN	152

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Perbandingan CPU dan GPU	20
Tabel 4.1	Perbandingan waktu antara CPU <i>core</i> i5 3330 dan GPU NVIDIA Geforce GT 635M pada citra dominan hitam berukuran 256x256 pixel.....	67
Tabel 4.2	Perbandingan waktu antara CPU <i>core</i> i5 3330 dan GPU NVIDIA Geforce GTX 660 pada citra dominan hitam berukuran 256x256 pixel.....	68
Tabel 4.3	Perbandingan waktu antara GPU NVIDIA Geforce GT 635 M dan GPU NVIDIA Geforce GTX 660 pada citradominan hitam berukuran 256x256 pixel.....	68
Tabel 4.4	Perbandingan waktu antara CPU <i>core</i> i5 3330 dan GPU NVIDIA Geforce GT 635 M pada citra dominan hitam berukuran 512x512 pixel.....	73
Tabel 4.5	Perbandingan waktu antara CPU <i>core</i> i5 3330 dan GPU NVIDIA Geforce GTX 660 pada citra dominan hitam berukuran 512x512 pixel.....	74
Tabel 4.6	Perbandingan waktu antara GPU NVIDIA Geforce GT 635 M dan GPU NVIDIA Geforce GTX 660 pada citra dominan hitam berukuran 512x512 pixel.....	74
Tabel 4.7	Perbandingan waktu antara CPU <i>core</i> i5 3330 dan GPU NVIDIA Geforce GTX 660 pada citra dominan hitam berukuran 1024x1024 pixel.....	79
Tabel 4.8	Perbandingan waktu antara CPU <i>core</i> i5 3330 dan GPU NVIDIA Geforce GT 635 M pada citra dominan putih berukuran 256x256 pixel.....	86
Tabel 4.9	Perbandingan waktu antara CPU <i>core</i> i5 3330 dan GPU NVIDIA Geforce GTX 660 pada citra dominan putih berukuran 256x256 pixel.....	86
Tabel 4.10	Perbandingan waktu antara GPU NVIDIA Geforce GT 635 M dan GPU NVIDIA Geforce GTX 660 pada citra dominan putih berukuran 256x256 pixel.....	87

Tabel 4.11 Perbandingan waktu antara CPU <i>core</i> i5 3330 dan GPU NVIDIA Geforce GT 635 M pada citra dominan putih berukuran 512x512 pixel.....	92
Tabel 4.12 Perbandingan waktu antara CPU <i>core</i> i5 3330 dan GPU NVIDIA Geforce GTX 660 pada citra dominan putih berukuran 512x512 pixel.....	92
Tabel 4.13 Perbandingan waktu antara GPU NVIDIA Geforce GT 635 M dan GPU NVIDIA Geforce GTX 660 pada gambar dominan putih berukuran 512x512 pixel.....	93
Tabel 4.14 Perbandingan waktu antara CPU <i>core</i> i5 3330 dan GPU NVIDIA Geforce GTX 660 pada gambar dominan putih berukuran 1024x1024 pixel.....	97
Tabel 4.15 Perbandingan waktu antara CPU <i>core</i> i5 3330 dan GPU NVIDIA Geforce GT 635 M pada citra dominan abu berukuran 256x256 pixel	104
Tabel 4.16 Perbandingan waktu antara CPU <i>core</i> i5 3330 dan GPU NVIDIA Geforce GTX 660 pada citra dominan abu berukuran 256x256 pixel.....	104
Tabel 4.17 Perbandingan waktu antara GPU NVIDIA Geforce GT 635 M dan GPU NVIDIA Geforce GTX 660 pada citra dominan abu berukuran 256x256 pixel.....	105
Tabel 4.18 Perbandingan waktu antara CPU <i>core</i> i5 3330 dan GPU NVIDIA Geforce GT 635 M pada citra dominan abu berukuran 512x512 pixel	110
Tabel 4.19 Perbandingan waktu antara CPU <i>core</i> i5 3330 dan GPU NVIDIA Geforce GTX 660 pada gambar dominan abu berukuran 512x512 pixel.....	110
Tabel 4.20 Perbandingan waktu antara GPU NVIDIA Geforce GT 635 M dan GPU NVIDIA Geforce GTX 660 pada gambar dominan abu berukuran 512x512 pixel.....	111
Tabel 4.21 Perbandingan waktu antara CPU <i>core</i> i5 3330 dan GPU NVIDIA Geforce GTX 660 pada gambar dominan abu berukuran 1024x1024 pixel.....	115
Tabel 4.22 Perbandingan waktu antara CPU <i>core</i> i5 3330 dan GPU NVIDIA Geforce GT 635 M pada citra biomedis uji 1 berukuran 256x256 pixel ...	122

Tabel 4.23 Perbandingan waktu antara CPU <i>core</i> i5 3330 dan GPU NVIDIA Geforce GTX 660 pada citra biomedis uji 1 berukuran 256x256 pixel	122
Tabel 4.24 Perbandingan waktu antara GPU NVIDIA Geforce GT 635 M dan GPU NVIDIA Geforce GTX 660 pada citra biomedis uji 1 berukuran 256x256 pixel.....	122
Tabel 4.25 Perbandingan waktu antara CPU <i>core</i> i5 3330 dan GPU NVIDIA Geforce GT 635 M pada citra biomedis uji 1 berukuran 512x512 pixel ...	127
Tabel 4.26 Perbandingan waktu antara CPU <i>core</i> i5 3330 dan GPU NVIDIA Geforce GTX 660 pada citra biomedis uji 1 berukuran 512x512 pixel.....	128
Tabel 4.27 Perbandingan waktu antara GPU NVIDIA Geforce GT 635 M dan GPU NVIDIA Geforce GTX 660 pada citra biomedis uji 1 berukuran 512x512 pixel.....	128
Tabel 4.28 Perbandingan waktu antara CPU <i>core</i> i5 3330 dan GPU NVIDIA Geforce GT 635 M pada citra biomedis uji 2 berukuran 256x256 pixel	133
Tabel 4.29 Perbandingan waktu antara CPU <i>core</i> i5 3330 dan GPU NVIDIA Geforce GTX 660 pada citra biomedis uji 2 berukuran 256x256 pixel.....	134
Tabel 4.30 Perbandingan waktu antara GPU NVIDIA Geforce GT 635 M dan GPU NVIDIA Geforce GTX 660 pada citra biomedis uji 2 berukuran 256x256 pixel.....	134
Tabel 4.31 Perbandingan waktu antara CPU <i>core</i> i5 3330 dan GPU NVIDIA Geforce GT 635 M pada citra biomedis uji 1 berukuran 512x512 pixel.....	139
Tabel 4.32 Perbandingan waktu antara CPU <i>core</i> i5 3330 dan GPU NVIDIA Geforce GTX 660 pada citra biomedis uji 1 berukuran 512x512 pixel.....	139
Tabel 4.33 Perbandingan waktu antara GPU NVIDIA Geforce GT 635 M dan GPU NVIDIA Geforce GTX 660 pada citra biomedis uji 1 berukuran 512x512 pixel.....	139
Tabel 4.34 Validasi Eksplisit hasil dengan penelitian sebelumnya pada citra biomedis 1 berukuran 256x256 pixel	141
Tabel 4.35 Validasi Eksplisit hasil dengan penelitian sebelumnya pada citra biomedis 2 berukuran 256x256 pixel	142

DAFTAR GAMBAR

Gambar	2.1.	Simulasi Active Contour Model.....	13
Gambar	2.2	Proses Komputasi	17
Gambar	2.3	Perbandingan <i>core</i> CPU dan GPU	19
Gambar	2.4	Dasar unit CUDA.....	21
Gambar	2.5	Struktur memory GPU CUDA	23
Gambar	2.6	Alur Pemrograman CUDA.....	24
Gambar	3.1	Citra Dominan Hitam	26
Gambar	3.2	Citra Dominan Putih	27
Gambar	3.3	Citra Dominan Abu	28
Gambar	3.4	Citra Biomedis 1	28
Gambar	3.5	Citra Biomedis 2	29
Gambar	3.6	Detail <i>processor</i> pada laptop.....	31
Gambar	3.7	Detail <i>memory</i> (RAM) pada laptop.....	32
Gambar	3.8	Detail GPU pada laptop	33
Gambar	3.9	Detail <i>processor</i> pada CPU	34
Gambar	3.10	Detail <i>memory</i> (RAM) pada CPU	35
Gambar	3.11	Detail GPU pada CPU.....	36
Gambar	3.12	<i>Flowchart</i> langkah-langkah penelitian.....	37
Gambar	3.13	<i>Code</i> struct uchar4 pada C	40
Gambar	3.14	<i>Code</i> load citra bitmap pada C.....	40
Gambar	3.15	<i>Code</i> baca pixel citra pada C.....	42
Gambar	3.16	<i>Code</i> inialisasi fungsi <i>level set</i> (ϕ) pada C.....	43
Gambar	3.17	<i>Code</i> inialisasi kernel <i>Gaussian</i> pada C	44
Gambar	3.18	<i>Code</i> fungsi <i>diract</i> pada C.....	45
Gambar	3.19	<i>Code</i> fungsi <i>Heaviside</i> pada C	46
Gambar	3.20	<i>Code</i> fungsi <i>Rectangular Window</i> pada C	47
Gambar	3.21	<i>Code</i> Konvolusi <i>Gaussian Filter</i> pada C	49
Gambar	3.22	<i>Code</i> update fungsi <i>level set</i> (ϕ) pada C.....	50

Gambar 3.23	<i>Code transfer data dari host (CPU) ke device (GPU)</i>	51
Gambar 3.24	<i>Code Index data block dan thread</i>	51
Gambar 3.25	<i>Code fungsi Diract δ pada GPU</i>	53
Gambar 3.26	<i>Code fungsi Heaviside H pada GPU</i>	54
Gambar 3.27	<i>Code fungsi rectangular window pada GPU</i>	55
Gambar 3.28	<i>Code konvolusi Gaussian Filter pada GPU</i>	57
Gambar 3.39	<i>Code update fungsi level set ϕ pada GPU</i>	59
Gambar 3.30	<i>Code update data fungsi level set ϕ pada GPU</i>	60
Gambar 4.1	Citra original dominan hitam ukuran 256x256 pixel	63
Gambar 4.2	Citra dominan hitam berukuran 256x256 pixel pada iterasi ke 0	64
Gambar 4.3	Citra dominan hitam berukuran 256x256 pixel pada iterasi ke 500	64
Gambar 4.4	Citra dominan hitam berukuran 256x256 pixel pada iterasi ke 1000.....	64
Gambar 4.5	Citra dominan hitam berukuran 256x256 pixel pada iterasi ke 1500.....	65
Gambar 4.6	Grafik perbandingan waktu dengan variasi jumlah <i>thread</i> pada citra dominan hitam berukuran 256x256 pixel	66
Gambar 4.7	Citra original dominan hitam berukuran 512x512 pixel	69
Gambar 4.8	Citra dominan hitam berukuran 512x512 pixel pada iterasi ke 0	69
Gambar 4.9	Citra dominan hitam berukuran 512x512 pixel pada iterasi ke 750	70
Gambar 4.10	Citra dominan hitam berukuran 512x512 pixel pada iterasi ke 1500.....	70
Gambar 4.11	Citra dominan hitam berukuran 512x512 pixel pada iterasi ke 4500.....	70
Gambar 4.12	Grafik perbandingan waktu dengan jumlah <i>thread</i> pada citra dominan hitam berukuran 512x512 pixel	72
Gambar 4.13	Citra original dominan hitam berukuran 1024x1024 pixel	75
Gambar 4.14	Citra dominan hitam berukuran 1024x1024 pixel pada iterasi ke 0	75
Gambar 4.15	Citra dominan hitam berukuran 1024x1024 pixel pada iterasi ke 2500.....	76
Gambar 4.16	Citra dominan hitam berukuran 1024x1024 pixel pada iterasi ke 10000.....	76

Gambar 4.17	Citra dominan hitam berukuran 1024x1024 pixel pada iterasi ke 17500.....	76
Gambar 4.18	Grafik perbandingan waktu dengan jumlah thread pada citra dominan hitam berukuran 1024x1024 pixel	77
Gambar 4.19	Grafik perbandingan waktu CPU <i>core i5 3330</i> dengan jumlah pixel citra pada citra dominan hitam.....	80
Gambar 4.20	Grafik perbandingan waktu GPU dengan jumlah pixel citra pada citra dominan hitam.....	81
Gambar 4.21	Citra original dominan putih berukuran 256x256 pixel.....	82
Gambar 4.22	Citra dominan putih berukuran 256x256 pixel pada iterasi ke 0	82
Gambar 4.23	Citra dominan putih berukuran 256x256 pixel pada iterasi ke 1000.....	82
Gambar 4.24	Citra dominan putih berukuran 256x256 pixel pada iterasi ke 3000.....	83
Gambar 4.25	Citra dominan putih berukuran 256x256 pixel pada iterasi ke 4500.....	83
Gambar 4.26	Grafik perbandingan waktu dengan jumlah <i>thread</i> pada citra dominan putih berukuran 256x256 pixel	84
Gambar 4.27	Citra original dominan putih berukuran 512x512 pixel.....	87
Gambar 4.28	Citra dominan putih berukuran 512x512 pixel pada iterasi ke 0	88
Gambar 4.29	Citra dominan putih berukuran 512x512 pixel pada iterasi ke 5000.....	88
Gambar 4.30	Citra dominan putih berukuran 512x512 pixel pada iterasi ke 10000.....	88
Gambar 4.31	Citra dominan putih berukuran 512x512 pixel pada iterasi ke 25000.....	89
Gambar 4.32	Grafik perbandingan waktu dengan jumlah <i>thread</i> pada citra dominan putih berukuran 512x512 pixel	90
Gambar 4.33	Citra original dominan putih berukuran 1024x1024 pixel.....	93
Gambar 4.34	Citra dominan putih berukuran 1024x1024 pixel pada iterasi ke 0	94

Gambar 4.35	Citra dominan putih berukuran 1024x1024 pixel pada iterasi ke 20000.....	94
Gambar 4.36	Citra dominan putih berukuran 1024x1024 pixel pada iterasi ke 60000.....	94
Gambar 4.37	Citra dominan putih berukuran 1024x1024 pixel pada iterasi ke 100000.....	95
Gambar 4.38	Grafik perbandingan waktu dengan jumlah <i>thread</i> pada citra dominan putih berukuran 1024x1024 pixel	96
Gambar 4.39	Grafik perbandingan waktu CPU <i>core i5 3330</i> dengan jumlah pixel citra pada citra dominan putih.....	98
Gambar 4.40	Grafik perbandingan waktu GPU <i>Geforce GTX 660</i> dengan jumlah pixel citra pada citra dominan putih.....	99
Gambar 4.41	Citra original dominan abu berukuran 256x256 pixel	100
Gambar 4.42	Citra dominan abu berukuran 256x256 pixel pada iterasi ke 0.....	100
Gambar 4.43	Citra dominan abu berukuran 256x256 pixel pada iterasi ke 900.....	100
Gambar 4.44	Citra dominan abu berukuran 256x256 pixel pada iterasi ke 1800.....	101
Gambar 4.45	Citra dominan abu berukuran 256x256 pixel pada iterasi ke 4500.....	101
Gambar 4.46	Grafik perbandingan waktu dengan jumlah <i>thread</i> pada citra dominan abu berukuran 256x256 pixel.....	102
Gambar 4.47	Citra original dominan abu berukuran 512x512 pixel	105
Gambar 4.48	Citra dominan abu berukuran 512x512 pixel pada iterasi ke 0.....	106
Gambar 4.49	Citra dominan abu berukuran 512x512 pixel pada iterasi ke 4000.....	106
Gambar 4.50	Citra dominan abu berukuran 512x512 pixel pada iterasi ke 12000...	106
Gambar 4.51	Citra dominan abu berukuran 512x512 pixel pada iterasi ke 20000...	107
Gambar 4.52	Grafik perbandingan waktu dengan jumlah <i>thread</i> pada citra dominan abu berukuran 512x512 pixel.....	108
Gambar 4.53	Citra original dominan abu berukuran 1024x1024 pixel	111
Gambar 4.54	Citra dominan abu berukuran 1024x1024 pixel pada iterasi ke 0.....	112
Gambar 4.55	Citra dominan abu berukuran 1024x1024 pixel pada iterasi ke 20000.....	112

Gambar 4.56	Citra dominan abu berukuran 1024x1024 pixel pada iterasi ke 50000.....	112
Gambar 4.57	Citra dominan abu berukuran 1024x1024 pixel pada iterasi ke 80000.....	113
Gambar 4.58	Grafik perbandingan waktu dengan jumlah <i>thread</i> pada citra dominan abu berukuran 1024x1024 pixel	114
Gambar 4.59	Grafik perbandingan waktu CPU <i>core i5 3330</i> dengan jumlah pixel citra pada citra dominan abu	116
Gambar 4.60	Grafik perbandingan waktu GPU NVIDIA GTX 660 dengan jumlah pixel citra pada citra dominan abu	117
Gambar 4.61	Citra original biomedis uji 1 berukuran 256x256 pixel	118
Gambar 4.62	Citra Biomedis Uji 1 berukuran 256x256 pixel pada iterasi ke 0.....	118
Gambar 4.63	Citra Biomedis Uji 1 berukuran 256x256 pixel pada iterasi ke 100...	118
Gambar 4.64	Citra Biomedis Uji 1 berukuran 256x256 pixel pada iterasi ke 7000.....	119
Gambar 4.65	Citra Biomedis Uji 1 berukuran 256x256 pixel pada iterasi ke 14000.....	119
Gambar 4.66	Grafik perbandingan waktu dengan jumlah thread pada citra biomedis uji 1 berukuran 256x256 pixel.....	120
Gambar 4.67	Citra original biomedis uji 1 berukuran 512x512 pixel	123
Gambar 4.68	Citra Biomedis Uji 1 berukuran 512x512 pixel pada iterasi ke 0.....	123
Gambar 4.69	Citra Biomedis Uji 1 berukuran 512x512 pixel pada iterasi ke 2000.....	124
Gambar 4.70	Citra Biomedis Uji 1 berukuran 512x512 pixel pada iterasi ke 30000.....	124
Gambar 4.71	Citra Biomedis Uji 1 berukuran 512x512 pixel pada iterasi ke 60000.....	124
Gambar 4.72	Grafik perbandingan waktu dengan jumlah <i>thread</i> pada citra biomedis uji 1 berukuran 512x512 pixel.....	126
Gambar 4.72	Citra original biomedis uji 2 berukuran 256x256 pixel	129
Gambar 4.73	Citra Biomedis Uji 2 berukuran 256x256 pixel pada iterasi ke 0.....	129

Gambar 4.74	Citra Biomedis Uji 2 berukuran 256x256 pixel pada iterasi ke 1000.....	130
Gambar 4.75	Citra Biomedis Uji 2 berukuran 256x256 pixel pada iterasi ke 5000.....	130
Gambar 4.76	Citra Biomedis Uji 2 berukuran 256x256 pixel pada iterasi ke 10000.....	130
Gambar 4.77	Grafik perbandingan waktu dengan jumlah <i>thread</i> pada citra biomedis uji 2 berukuran 256x256 pixel.....	132
Gambar 4.78	Citra original biomedis uji 2 berukuran 512x512 pixel	135
Gambar 4.79	Citra Biomedis Uji 2 berukuran 512x512 pixel pada iterasi ke 0.....	135
Gambar 4.80	Citra Biomedis Uji 2 berukuran 512x512 pixel pada iterasi ke 10000.....	135
Gambar 4.81	Citra Biomedis Uji 2 berukuran 512x512 pixel pada iterasi ke 25000.....	136
Gambar 4.82	Citra Biomedis Uji 2 berukuran 512x512 pixel pada iterasi ke 40000.....	136
Gambar 4.83	Grafik perbandingan waktu dengan jumlah <i>thread</i> pada citra biomedis uji 2 berukuran 512x512 pixel.....	137

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A PROGRAM LEVEL SET LIF C PROGRAMMING	153
A1. main.cpp	153
A2. time.cpp	165
LAMPIRAN B PROGRAM LEVEL SET LIF CUDA PROGRAMMING	168



NOTASI

G_{ς}	: filter konvolusi <i>Gaussian</i> dengan sigma = ς
$H_{\varepsilon}(\phi)$: nilai fungsi <i>Heaviside</i>
I^{LFI}	: fungsi <i>local fitted image</i> (LFI)
$I(x)$: intensitas citra ke x
K_{σ}	: filter konvolusi <i>Gaussian</i> dengan sigma = σ
m_1, m_2	: nilai fungsi <i>rectangular window</i>
π	: nilai phi standart 3.14
ε	: nilai epsilon
$\delta_{\varepsilon}(\phi)$: nilai fungsi <i>diract</i>
σ	: nilai sigma filter konvolusi <i>Gaussian</i> yang digunakan pada fungsi <i>rectangular window</i>
ϕ	: nilai <i>level set</i>
ρ	: nilai inisialisasi fungsi <i>level set</i>
Ω_0	: bagian dari domain <i>image</i>
$\partial\Omega_0, \Omega$: <i>boundary</i> dari Ω_0
Δt	: <i>timestep</i>
ϕ^{n+1}	: nilai <i>level set</i> ke n+1
ϕ^n	: nilai <i>level set</i> ke n
ς	: nilai sigma filter konvolusi <i>Gaussian</i> yang digunakan pada ϕ